REVIEW ARTICLE

A Systematic Review of the Effects of Neuromuscular and Sensorimotor Training on Re-injury Risk and Neuromuscular Function in Patients Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

Farhad Rezazadeh[1],
Shirin Ali[2],
Fariborz Imani[3],
Parinaz Fahimi[4],
Hamed Sheikhalizadeh[5]

[1] Assistant Professor, Department of Sports Biomechanics, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
[2] Assistant Professor, Department of Sport Sciences Education, Farhangian University, Tehran, Iran
[3] PhD Student in Sports Biomechanics, Department of Sports Biomechanics, Faculty of Psychology and Educational Sciences, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran
[4] MSc Student in Sports Biomechanics, Department of Sports Biomechanics, Faculty of Psychology and Educational Sciences, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran
[5] PhD Candidate in Sports Biomechanics, Department of Sports Biomechanics, Faculty of Psychology and Educational Sciences, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

(Received August 28, 2025; Accepted February 8, 2026)

Abstract

Background and purpose: Anterior cruciate ligament (ACL) rupture is one of the most common sports injuries, and its reconstruction is associated with a risk of persistent functional deficits and subsequent re-injury. Neuromuscular and sensorimotor training have been proposed as promising strategies to improve neuromuscular control and reduce re-injury risk. This systematic review aimed to determine the effectiveness of these training programs in reducing the risk of re-injury and improving neuromuscular function following ACL reconstruction (ACLR) in athletic populations.

Materials and methods: A comprehensive literature search was conducted in the PubMed, Web of Science, PEDro, and Scopus databases. Google Scholar was also searched to identify gray literature. The search covered the period from January 1, 2015, to October 1, 2025. Of the 4,279 studies identified, 10 eligible studies were included and assessed for methodological quality using the Downs and Black checklist, and for risk of bias using the Cochrane RoB 2 and ROBINS-I tools. The findings were synthesized narratively.

Results: Neuromuscular and sensorimotor training were associated with significant improvements in joint position sense, static and dynamic balance, muscle strength, and landing and jumping biomechanics, while reducing biomechanical risk factors (such as dynamic knee valgus). These interventions also contributed to enhanced joint stability and overall functional capacity. Multimodal training protocols incorporating cognitive–motor components within sport-specific simulated environments played a key role in preparing patients for a safe and effective return to sport.

Conclusion: Neuromuscular and sensorimotor training represent effective strategies for improving neuromuscular function and mitigating the risk of re-injury following ACL reconstruction. The integration of these interventions into structured, progressive, and comprehensive rehabilitation protocols is strongly recommended as a core component of post-ACLR rehabilitation programs.

Keywords: anterior cruciate ligament, ACL reconstruction, neuromuscular training, sensorimotor training, re-injury, neuromuscular function

J Mazandaran Univ Med Sci 2026; 35 (254): 108-120 (Persian).

Corresponding Author: Farhad Rezazadeh - Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran (E-mail: Rezazadeh.farhad@uma.ac.ir)

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-23]

مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران
دوره سی و پنجم شماره ۲۵۴ اسفند سال ۱۴۰۴ (۱۲۰-۱۰۸)

مروری سیستماتیک بر اثرات تمرینات عصبی-عضلانی و حسی-حرکتی بر خطر آسیب مجدد و عملکرد عصبی-عضلانی در بیماران پس از بازسازی رباط صلیبی قدامی

فرهاد رضازاده[۱]
شیرین عالی[۲]
فریبرز ایمانی[۳]
پریناز فهیمی[۴]
حامد شیخعلی‌زاده[۵]

چکیده

سابقه و هدف: پارگی رباط صلیبی قدامی یکی از شایع‌ترین آسیب‌های ورزشی است و بازسازی آن با خطر نقص عملکرد و آسیب مجدد همراه می‌شود. تمرینات نوروماسکولار و حسی- حرکتی به‌عنوان راهکارهایی برای بهبود کنترل عصبی - عضلانی و پیشگیری از آسیب مجدد پیشنهاد شده‌اند. این مرور سیستماتیک با هدف تبیین اثربخشی این تمرینات را بر کاهش خطر آسیب مجدد و بهبود عملکرد عصبی‌عضلانی پس از ACLR در بیماران ورزشی، انجام پذیرفت.

مواد و روش ها: جستجوی جامع در پایگاه‌های داده PubMed، Web of Science، PEDro و Scopus انجام شد. از موتور جستجوی Google Scholar برای جستجوی منابع خاکستری استفاده شد. این جستجو دوره زمانی ۱ ژانویه ۲۰۱۵ تا ۱ اکتبر ۲۰۲۵ را پوشش داد. از بین ۴۲۷۹ مطالعه شناسایی شده، ۱۰ مطالعه واجد شرایط با استفاده از پرسشنامه داون و بلک و خطر سوگیری با استفاده از ابزارهای Cochrane RoB 2 و ROBINS-I ارزیابی شد و نتایج به صورت روایی ترکیب شدند.

یافته‌ها: تمرینات نوروماسکولار و حسی - حرکتی به‌طور معناداری منجر به بهبود حس وضعیت مفصل، تعادل ایستا و پویا، قدرت عضلانی، الگوهای فرود و پرش، و کاهش شاخص‌های خطر بیومکانیکی (مانند والگوس دینامیک زانو) شدند. این تمرینات هم‌چنین باعث افزایش پایداری مفصل و بهبود عملکرد گردید. تمرینات ترکیبی با مؤلفه‌های شناختی- حرکتی در شرایط شبیه‌سازی شده ورزشی، نقش کلیدی در آماده‌سازی بیماران برای بازگشت ایمن به ورزش داشتند.

استنتاج: تمرینات نوروماسکولار و حسی- حرکتی، مداخلاتی مؤثر برای بهبود عملکرد عصبی- عضلانی و کاهش خطر آسیب مجدد پس از بازسازی ACL هستند. گنجاندن این تمرینات در قالب پروتکل‌های پیشرونده و جامع به‌عنوان بخشی ضروری از برنامه‌های بازتوانی توصیه می‌شود.

واژه های کلیدی: رباط صلیبی قدامی، بازسازی ACL، تمرینات نوروماسکولار، تمرینات حسی- حرکتی، آسیب مجدد، عملکرد عصبی- عضلانی

مولف مسئول: فرهاد رضازاده-اردبیل: دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده روانشناسی و علوم تربیتی **E-mail:** Rezazadeh.farhad@uma.ac.ir

۱. استادیار، گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲. استادیار، گروه آموزش تربیت بدنی، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران
۳. دانشجوی دکتری تخصصی، گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۴. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۵. دانشجوی دکتری تخصصی، گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
تاریخ دریافت : ۱۴۰۴/۶/۶ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات : ۱۴۰۴/۶/۲۳ تاریخ تصویب : ۱۴۰۴/۱۱/۱۹

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-23]

مقدمه

رباط صلیبی قدامی (ACL) (Anterior cruciate ligament) به‌عنوان یکی از عناصر کلیدی پایدارکننده زانو، نقشی اساسی در حفظ کنترل و ثبات مفصل طی فعالیت‌های پویا بر عهده دارد(۱). پارگی‌های کامل یا جزئی ACL از شایع‌ترین آسیب‌های ارتوپدی در میان ورزشکاران و افراد فعال به شمار می‌آیند(۲). برآوردها نشان می‌دهد سالانه نزدیک به ۲۰۰ هزار پارگی ACL در ایالات متحده گزارش می‌شود که خود بیانگر بار بالینی و اقتصادی قابل‌توجه این آسیب است(۳). آسیب ACL معمولاً در نتیجه والگوس پویای اندام تحتانی رخ می‌دهد که با اداکشن و چرخش داخلی ران، جابه‌جایی قدامی درشت‌نی و الگوهای چرخشی نامطلوب زانو و مچ پا همراه است(۴، ۵). این زنجیره‌ی حرکتی اغلب در ورزشکارانی دیده می‌شود که از کنترل عصبی‌عضلانی ناکافی رنج می‌برند، عاملی که موجب اختلال در الگوهای بیومکانیکی اندام تحتانی و در نهایت افزایش خطر پارگی ACL می‌گردد(۶).

اگر چه درمان غیرجراحی برای برخی بیماران امکان‌پذیر است، بسیاری از ورزشکاران و افراد فعال برای دستیابی به بازگشت ایمن و مؤثر به سطح فعالیت پیشین، بازسازی رباط صلیبی قدامی (ACLR) (Anterior cruciate ligament reconstruction) را برمی‌گزینند(۷). با وجود پیشرفت در جراحی و توان‌بخشی، بازسازی ACL هم‌چنان با چالش‌هایی مانند بهبود ناقص عملکرد و خطر آسیب مجدد همراه است(۸، ۹). مکانیسم غالب پارگی ACL غیرتماسی است و معمولاً در پی تغییر ناگهانی سرعت یا جهت، الگوهای فرود نامطلوب و حرکات چرخشی و پیچشی رخ می‌دهد(۸، ۱۰). در این میان، ورزشکاران زن نسبت به همتایان مرد خود بیش‌تر دچار آسیب ACL می‌شوند، مسئله‌ای که طراحی مداخلات پیشگیرانه و برنامه‌ریزی درمان را پیچیده‌تر می‌سازد(۱۱، ۱۲).

بازگشت به ورزش (RTS)(Return to Sport) بعد از عمل بازسازی ACL یک مرحله مهم و سخت است(۱۳). با این که معمولاً از برنامه‌های زمان‌بندی شده برای توان بخشی استفاده می‌شود، در عمل فقط حدود نصف بیماران واقعاً به ورزش برمی‌گردند(۱۴). به‌ویژه افراد زیر ۲۵ سال بیش‌تر در معرض آسیب مجدد هستند و پارگی ثانویه ACL تا ۲۳ درصد گزارش شده است، پس لازم است برنامه‌های توان بخشی دقیق‌تری مورد استفاده قرار گیرد(۱۵). با وجود توجه به این عوامل، هنوز دستورالعمل‌های جامع و کاملاً مبتنی بر شواهد که همه‌ی آن‌ها را پوشش دهد کم است.

حس عمقی زانو در بسیاری از ورزشکاران پس از بازسازی ACL، حتی پس از پایان توان بخشی، همچنان دچار نقص بوده و با بی‌ثباتی وضعیتی، کنترل حرکتی نامطلوب و افزایش ریسک آسیب مجدد همراه است(۱۶، ۱۷). تمرینات نوروماسکولار(Neuromuscular exercises) (تعادلی، تقویتی، پلایومتریک با بازخورد) می‌توانند حس عمقی و مکانیک‌های فرود و همچنین تغییر جهت را بهبود دهند و برای پیشگیری و بازتوانی توصیه می‌شوند(۱۸). Panicsو همکاران (۲۰۰۸) در یک مطالعه بر روی دو تیم حرفه‌ای هندبال زنان نشان دادند برنامه تمرینی نوروماسکولار اختصاصی، دقت حس موقعیت مفصل زانو را به‌طور معناداری بهبود می‌دهد که این بهبود می‌تواند مکانیسمی برای اثر کاهش دهنده آسیب در برنامه‌های تمرینی نوروماسکولار باشد(۱۹).

تمرینات حسی- حرکتی مجموعه‌ای از تمرین‌های هدفمند برای بازآموزی هماهنگی حس و حرکت است(۲۰). این روش با هدف تقویت حس‌عمقی و تعادل، بهبود هم‌انقباضی عضلات و اصلاح الگوهای فرود و تغییر جهت به‌کار می‌رود و شامل تمرینات تعادلی، پلایومتریک هدایت شده، بازخورد بیرونی و تکالیف دوگانه شناختی- حرکتی است(۲۱، ۲۲). Strong و همکاران در سال ۲۰۲۵ در مطالعه‌ای به تاثیر تمرینات حسی- حرکتی بر کاهش ریسک آسیب مجدد و بهبود عملکرد عصبی- عضلانی در افراد با بازسازی ACL پرداختند. شواهد این پژوهش نشان داد، تمرینات تعادلی

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-23]

و پلایومتریک با بازخورد بیرونی و تمرینات حسی – حرکتی ادغام شود باعث کم شدن الگوهای پرخطر شده و مسیر بازگشت به ورزش را ایمن‌تر می‌کند(۲۳).

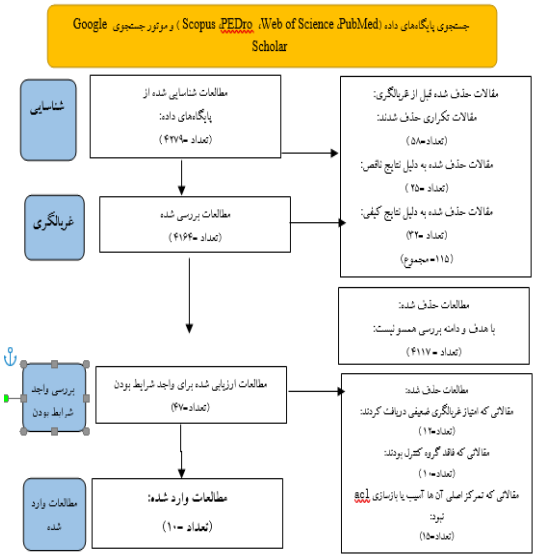
با وجود شواهد پراکنده، تاکنون هیچ مرور سیستماتیکی به‌صورت جامع و یکپارچه به بررسی هم‌زمان اثرات تمرینات نوروماسکولار و حسی – حرکتی پس از بازسازی رباط صلیبی قدامی بر دو محور کاهش خطر آسیب مجدد و بهبود عملکرد عصبی – عضلانی همراه با ارزیابی کیفیت روش‌شناختی مطالعات نپرداخته است. از این رو، هدف این مرور سیستماتیک، تبیین و یکپارچه‌سازی شواهد موجود پیرامون اثربخشی این تمرینات بر کاهش ریسک آسیب مجدد و ارتقای عملکرد عصبی – عضلانی پس از بازسازی ACL است.

مواد و روش‌ها

این بررسی سیستماتیک با هدف ارزیابی شواهد موجود درباره تأثیر تمرینات نوروماسکولار و حسی – حرکتی بر کاهش ریسک آسیب مجدد و بهبود عملکرد عصبی – عضلانی پس از بازسازی ACL انجام شد و قابل ذکر است که با توجه به مروری بودن، این مطالعه کد اخلاق ندارد. مطالعه مطابق دستورالعمل PRISMA طراحی و اجرا گردید که جزئیات آن در نمودار PRISMA ارائه شده است (تصویر شماره ۱).

استراتژی جستجو

جستجوی سیستماتیک در PubMed، Web of Science، Scopus و PEDro انجام شد و برای منابع خاکستری، ۱۰۰ نتیجه اول Google Scholar بررسی شدند. دوره زمانی جستجو از ژانویه ۲۰۱۵ تا اکتبر ۲۰۲۵ بود و نتایج در EndNote وارد و موارد تکراری حذف شدند. غربالگری عناوین، چکیده و متن کامل توسط دو پژوهشگر مستقل انجام شد و اختلاف‌ها با بحث یا داور سوم حل شد. منابع مقالات نیز به روش گلوله برفی بررسی شدند. جدول شماره ۱، استراتژی جستجوی PubMed را نشان می‌دهد.



تصویر شماره ۱: فرآیند جستجو، بررسی و انتخاب مقالات بر اساس دستورالعمل‌های PRISMA

معیارهای ورود و خروج

معیارهای ورود و خروج پیش از استخراج داده‌ها تعیین شد تا فرآیند بررسی سیستماتیک هدایت شود. مطالعاتی وارد بررسی شدند که تأثیر تمرینات نوروماسکولار و حسی – حرکتی را بر کاهش ریسک آسیب مجدد و بهبود عملکرد عصبی – عضلانی پس از بازسازی ACL بررسی کرده بودند. معیارهای ورود شامل، دسترسی به متن کامل انگلیسی، مطالعات کمی با هر نوع طراحی پژوهشی، شرکت‌کنندگان مبتلا به آسیب یا بازسازیACL، و گزارش حداقل یکی از شاخص‌های مرتبط با ریسک آسیب مجدد یا عملکرد عصبی– عضلانی بود. مطالعاتی که از مداخلات غیر از تمرینات نوروماسکولار و حسی – حرکتی استفاده کرده بودند، مقالات مروری و پروتکل‌ها، مقالات فاقد داده کامل یا متن کامل، مطالعاتی که شاخص‌های مورد نظر را گزارش نکرده بودند و مقالات غیرانگلیسی، از بررسی حذف شدند. غربالگری عناوین، چکیده‌ها و متن کامل مقالات به‌صورت مستقل توسط دو داور انجام شد و اختلاف‌نظرها از طریق اجماع یا با نظر داور سوم برطرف گردید.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-23]

جدول شماره ۱: استراتژی جست‌وجو در پایگاه داده PubMed

پایگاه داده	تاریخ جست‌وجو	کلیدواژه‌ها / نحوه جست‌وجو	فیلترها	نتایج
PubMed	۱۰ مهر ۱۴۰۴	("Anterior Cruciate Ligament"[MeSH Terms] OR "ACL reconstruction"[All Fields] OR "ACLR"[All Fields]) AND ("exercise therapy"[MeSH Terms] OR "neuromuscular training"[All Fields] OR "sensorimotor training"[All Fields] OR proprioceptive[All Fields]) AND (reinjury[All Fields] OR retear[All Fields] OR "return to sport"[All Fields] OR "neuromuscular performance"[All Fields] OR electromyography[All Fields]) AND ((english[Filter]) AND (2015:2025[pdat]))	زبان: انگلیسی، سال انتشار: ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵	۱۵۸

استخراج داده

برای استخراج داده‌ها، یک فرم استاندارد طراحی و پیش از اجرا روی چند مطالعه آزمایش شد و پس از اصلاح، نهایی گردید. دو نویسنده با تجربه به‌طور مستقل داده‌ها را شامل مشخصات مطالعه، جزئیات شرکت‌کنندگان، اهداف، مدت زمان، ابزار و متغیرهای اندازه‌گیری، تمرینات و نتایج اصلی استخراج کردند. اختلاف‌نظرها ابتدا با بحث حل و در صورت نیاز با نظر داور سوم نهایی شد.

ارزیابی کیفیت و خطر سوگیری

کیفیت روش‌شناسی و خطر سوگیری برای همه مطالعات انتخاب شده به‌طور مستقل توسط دو نویسنده بررسی و ارزیابی شد. هرگونه اختلاف نظر با اجماع با کمک نفر سوم حل شد.

ارزیابی کیفیت

کیفیت روش‌شناسی هر ۱۰ مطالعه‌ی وارد شده با استفاده از چک لیست داون و بلک(Downs and Black Checklist) ارزیابی شد(۲۴). این ابزار ۲۷ سؤالی برای ارزیابی کیفیت مطالعات تصادفی و غیرتصادفی مداخله‌ی مراقبت‌های بهداشتی طراحی شده است. این چک لیست جنبه‌های متعددی از کیفیت مطالعه را در پنج زیرمقیاس، گزارش‌دهی (۱۰ سؤال)، اعتبار خارجی (۳ سؤال)، اعتبار داخلی - سوگیری (۷ سؤال)، اعتبار داخلی- مخدوش‌کننده(۶ سؤال) و قدرت (۱ سؤال)، ارزیابی می‌کند. هر سؤال به صورت ۱ (بله) یا ۰ (خیر) نمره‌گذاری می‌شود، به استثنای سؤال گزارش‌دهی برای مخدوش‌کننده‌های اصلی (امتیاز ۰-۲) و سؤال قدرت (امتیاز ۰-۵) که منجر به حداکثر امتیاز ممکن ۳۲ می‌شود.

خطر سوگیری

ابزارهای خاصی برای ارزیابی خطر سوگیری بر اساس طراحی مطالعه استفاده شدند. برای همه کارآزمایی‌های کنترل شده تصادفی (RCTs) و مطالعه آزمایشگاهی تصادفی سازی شده، از ابزار خطر سوگیری کاکرین ۲ (RoB 2) استفاده شد(۲۵). برای مطالعات نیمه‌تجربی و کوهورت، از ابزار خطر سوگیری در مطالعات مداخلات غیر تصادفی (ROBINS-I) استفاده شد(۲۶).

ترکیب و تحلیل داده‌ها

به‌دلیل ناهمگونی قابل‌توجه در طراحی مطالعات، ویژگی‌های شرکت‌کنندگان، پروتکل‌های تمرینی و ابزارهای ارزیابی، امکان انجام متاآنالیز وجود نداشت؛ بنابراین از سنتز روایی استفاده شد. داده‌ها بر اساس نوع تمرینات (نوروماسکولار و حسی - حرکتی)، شاخص‌های عملکردی (حس وضعیت مفصل، قدرت، تعادل و بیومکانیک پرش و فرود) و پیامدهای بالینی (ریسک آسیب مجدد و عملکرد عصبی- عضلانی) دسته‌بندی شدند. سپس یافته‌ها به‌صورت مقایسه‌ای تحلیل شد تا الگوهای مشترک در اثربخشی این تمرینات بر بهبود کنترل عصبی - عضلانی و کاهش خطر آسیب مجدد در بیماران بازسازی شده ACL مشخص شود.

یافته‌ها

انتخاب مطالعات

در جستجوی سیستماتیک، ابتدا ۴۲۷۹ مقاله شناسایی شد و پس از حذف موارد تکراری و ناقص، ۴۱۶۴ مقاله باقی ماند. پس از غربالگری عنوان و چکیده، ۴۱۱۷ مطالعه حذف و ۴۷ مقاله برای ارزیابی متن کامل باقی

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-23]

ماندند که ۳۷ مورد دیگر به دلیل کیفیت پایین، نبود متن کامل، عدم تمرکز بر آسیب/بازسازیACL یا فقدان گروه کنترل حذف شدند. در نهایت، ۱۰ مطالعه وارد بررسی سیستماتیک شدند. جریان انتخاب مطالعات در نمودار PRISMA ارائه شده است (تصویر شماره ۱).

ویژگی‌های مطالعه

مطالعات شامل طرح‌های تحقیقاتی متنوعی بودند. ۱ مطالعه آزمایشگاهی، ۲ مطالعه نیمه تجربی، ۱ مطالعه کوهورت و ۶ مطالعه کارآزمایی بالینی (RCT) بود. جمعیت شرکت‌کنندگان شامل مردان و زنان با محدوده سنی ۱۲ تا ۵۳ سال بود. اندازه نمونه در مطالعات متفاوت بود و از ۱۶ تا ۸۰ شرکت کننده متغیر بود.

کیفیت روش‌شناسی

کیفیت روش‌شناسی ۱۰ مطالعه‌ی مورد بررسی با استفاده از چک لیست داون و بلک ارزیابی شد، نمرات از ۱۶ تا ۳۱ از حداکثر نمره ممکن ۳۲ (میانگین نمره: ۴/۷۲±۲۱/۹)، بوده است که به طور کلی، کیفیت مطالعات مورد بررسی از متوسط تا بالا بود. اکثر مطالعات، گزارش قوی از اهداف مطالعه، نتایج اصلی و ویژگی شرکت‌کنندگان نشان دادند (جدول شماره ۲).

چک لیست داون و بلک شامل ۲۷ مورد در پنج زیرمقیاس (گزارش‌دهی، اعتبار خارجی، اعتبار داخلی- سوگیری، اعتبار داخلی - مخدوش‌کننده و قدرت) است. امتیاز برای موارد ۱۳-۱ و ۲۵-۱۵ برای «بله » ۱ و برای «خیر » یا «قادر به تعیین» ۰ است. مورد ۵ (مخدوش‌کننده‌ها) از ۰ تا ۲ نمره‌گذاری می‌شود. مورد۲۷ (قدرت) از ۰ تا ۵ نمره‌گذاری می‌شود. حداکثر امتیاز ممکن ۳۲ است. امتیاز بالاتر نشان دهنده کیفیت روش‌شناختی بالاتر است. خطر سوگیری برای هر ۱۰ مطالعه ارزیابی شد. از میان هفت مقاله‌ای که با ابزار Cochrane RoB 2ارزیابی شدند، ۴ مطالعه (۵۷/۱ درصد) در مجموع دارای «خطر سوگیری کم» و ۳ مطالعه (۴۲/۹ درصد) در سطح «برخی نگرانی‌ها» تشخیص داده شدند.

جدول شماره ۲: ارزیابی کیفیت روش‌شناختی با استفاده از چک لیست داون و بلک

نویسنده/ سال	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	مجموع (۳۲)
Strong و همکاران/۲۰۲۵ (۳۳)	۱	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۵	۲۲
Ghaderi و همکاران/۲۰۲۰ (۴۷)	۱	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۲۳
Khalid و همکاران/۲۰۲۳ (۳۸)	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۳	۲۴
Ghaderi و همکاران/۲۰۲۱ (۴۹)	۱	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۵	۳۱
Mazidluie و همکاران/۲۰۲۴ (۴۰)	۱	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۵	۲۷
Nagelli و همکاران/۲۰۲۱ (۴۱)	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۱۷
Kaya و همکاران/۲۰۱۹ (۴۲)	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۲۰
Shirn و همکاران/۲۰۱۵ (۴۳)	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۱۷
Eslami و همکاران/۲۰۲۴ (۴۴)	۱	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۲۲
Chmielewski و همکاران/ ۲۰۲۴ (۴۵)	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۱۶
مجموع	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۳	۱۰	۱۰	۱	۸	۱۰	۲	۱	۷	۰	۶	۹	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۶	۴	۶	۹	۱۸	-

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-23]

خطر سوگیری

برای سه مطالعه نیمه تجربی و کوهورت که با ابزار ROBINS-I ارزیابی شدند، ۱ مطالعه (۳۳ درصد) به عنوان «خطر متوسط سوگیری» ارزیابی شد، در حالی که ۲ مطالعه (۶۷ درصد) به عنوان «خطر جدی سوگیری» ارزیابی شدند.

منابع اصلی سوگیری بالقوه در این مطالعات غیر تصادفی مربوط به متغیرهای مخدوش کننده و انتخاب شرکت‌کنندگان در گروه مطالعه بود. قضاوت‌های دقیق در سطح دامنه برای همه مطالعات گنجانده شده در جدول شماره ۳ ارائه شده است.

ابزار RoB Cochrane ۲ برای کارآزمایی‌های تصادفی کنترل‌شده (RCTs) و آزمایشگاهی و ابزار I-ROBINS برای مطالعات شبه‌تجربی و کوهورت استفاده شد. دامنه‌های RoB Cochrane ۲ :۱: سوگیری ناشی از فرآیند تصادفی‌سازی، ۲: سوگیری ناشی از انحراف از مداخلات مورد نظر، ۳: سوگیری ناشی از داده‌های از دست رفته پیامد، ۴: سوگیری در اندازه‌گیری پیامد، ۵: سوگیری در انتخاب نتیجه گزارش شده، قضاوت‌ها «کم‌خطر »، «برخی نگرانی‌ها » یا «پرخطر » هستند. دامنه‌های I-ROBINS :۱: سوگیری ناشی از مخدوش‌کننده‌ها، ۲: سوگیری در انتخاب شرکت‌کنندگان، ۳: سوگیری در طبقه‌بندی مداخلات، ۴: سوگیری ناشی از انحراف از مداخلات، ۵: سوگیری ناشی از داده‌های از دست رفته، ۶: سوگیری در اندازه‌گیری پیامدها، ۷: سوگیری در انتخاب نتیجه گزارش شده، قضاوت‌ها ریسک «کم»، «متوسط»، «جدی» یا «بحرانی» هستند.

ویژگی‌های مداخله

مطالعات این مرور شامل طرح‌های مختلف پژوهشی بودند و از تمرینات متنوع نوروماسکولار و حسی- حرکتی در بیماران پس از بازسازی ACL استفاده کردند.

جدول شماره ۳:ارزیابی خطر سوگیری با استفاده از Cochrane RoB 2 و ROBINS-I

نویسنده/ سال		دامنه ۱	دامنه ۲	دامنه ۳	دامنه ۴	دامنه ۵	دامنه ۶	دامنه ۷	مجموع
ابزار خطر سوگیری کاکرین ۲ (RoB 2)	نوع مطالعه	تصادفی سازی	انحرافات	داده‌های گم شده	معیارهای پیامد	گزارش دهی	-	-	
Strong و همکاران/ ۲۰۲۵ (۲۳)	آزمایشگاهی کنترل‌شده	کم خطر	کم خطر	کم خطر	برخی نگرانی‌ها	کم خطر			کم خطر
Ghaderi و همکاران/۲۰۲۰ (۲۷)	کارآزمایی بالینی تصادفی	کم خطر	کم خطر	کم خطر	کم خطر	برخی نگرانی‌ها			برخی نگرانی‌ها
Khalid و همکاران/۲۰۲۲ (۲۸)	کارآزمایی بالینی تصادفی	برخی نگرانی‌ها	کم خطر	کم خطر	کم خطر	کم خطر			برخی نگرانی‌ها
Ghaderi و همکاران/۲۰۲۱ (۲۹)	کارآزمایی بالینی تصادفی	کم خطر	کم خطر	کم خطر	کم خطر	کم خطر			کم خطر
Mazidluie و همکاران/۲۰۲۴ (۳۰)	کارآزمایی بالینی تصادفی	کم خطر	برخی نگرانی‌ها	کم خطر	کم خطر	کم خطر			کم خطر
Kaya و همکاران/۲۰۱۹ (۳۲)	کارآزمایی بالینی تصادفی	برخی نگرانی‌ها	کم خطر	کم خطر	کم خطر	کم خطر			برخی نگرانی‌ها
Eslami و همکاران/۲۰۲۴ (۳۴)	کارآزمایی بالینی تصادفی تک‌سوکور	کم خطر	کم خطر	کم خطر	کم خطر	کم خطر			کم خطر
مداخلات نیمه تجربی(-ROBINS I)	نوع مطالعه	عوامل مخدوش کننده	انتخاب شرکت کنندگان	مداخله	انحرافات از پروتکل مداخله	داده‌های از دست‌رفته	پیامدها	گزارش دهی	-
Nagelli و همکاران/ ۲۰۲۱ (۳۱)	کوهورت	متوسط	جدی	پایین	متوسط	پایین	پایین	پایین	متوسط
Shim و همکاران/ ۲۰۱۵ (۳۳)	نیمه تجربی	جدی	جدی	پایین	متوسط	پایین	متوسط	پایین	جدی
Chmielewski و همکاران/۲۰۲۴ (۳۵)	نیمه‌تجربی	جدی	جدی	پایین	متوسط	جدی	متوسط	پایین	جدی

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-23]

مـداخلات عمـدتاً شـامل تمرینـات تعـادلی، پـرش، اسـکوات و حرکـات چـابکی (گـاه همـراه بـا تکـالیف شناختی) بود که به‌صورت پیش‌رونده و با فراوانـی ۲–۳ جلسه در هفته طی ۴ تا ۲۴ هفته اجرا شدند. ویژگی‌هـای هر مطالعه در جدول شماره ۴ ارائه شده است.

بحث

هـدف از مطالعـه حاضـر، بررسـی تـاثیر تمرینـات نوروماسـکولار و حسـی- حرکتـی بـر کـاهش ریسـک آسـیب مجـدد و بهبـود عملکـرد عصـبی - عضـلانی در افراد پس از بازسازی ACL بود. با توجه به معیار ورود و خروج ۱۰ مطالعه با ۳۶۰ آزمـودنی وارد مطالعـه گردیـد که دامنه سنی آزمودنی‌ها ۱۲ تا ۵۳ سال بود. شواهد ایـن مرور نشان می‌دهد تمرینـات نوروماسـکولار و حسـی - حرکتی با بازسازی مسیرهای عصبی کنترل کننـده زانـو، موجب کاهش خطـای حـس وضـعیت مفصـل و بهبـود تعادل ایستا و پویا می‌شوند.

جدول شماره ٤: ویژگی مطالعات

ردیف	نویسنده، سال	طراحی مطالعه	اهداف تحقیق	تمرینات	شرکت کنندگان (تعداد، جنسیت، سن)	مدت زمان تحقیق	ابزار اندازه‌گیری	نتیجه‌گیری
۱	Strong و همکاران/ ۲۰۲۵ (۲۳)	مطالعه آزمایشگاهی کنترل شده	بیماران پس از بازسازی ACL دچار تداخل شناختی -حرکتی بیشتری نسبت به گروه کنترل می‌شوند و نقش احتمالی جنسیت در این پدیده	پرش عمودی -فخت بدون و با وظایف شناختی همزمان شامل حافظه کوتاه‌مدت، توجه، تصمیم گیری سریع و کنترل مهاری	N=۸۰ ۴۰مرد و ۴۰زن، ۲۰ تا ۳۰ سال	یک جلسه آزمایشگاهی	فورس پلیت Kistler، سیستم موشن کپچر Qualisys، آزمون‌های شناختی CANTAB (iPad)، سیستم سفارشی فلش و لیزر برای ثبت واکنش	۱: بیماران ACLR عملکرد ضعیف‌تری در تکالیف شناختی حرکتی همزمان داشتند.
۲	Ghaderi و همکاران/ ۲۰۲۰ (۲۷)	کارآزمایی بالینی تصادفی (RCT)	تمرینات نوروماسکولار بر حس وضعیت زانو در ورزشکارانی که پس از بازسازی ACL به ورزش برگشته‌اند	تمرینات نوروماسکولار شامل: اسکوات تک و دوپا، لانج، پرش از ارتفاع، ایستادن تک‌پا روی سطح ناپایدار، پرش کلتزموومنت، پرش طولی، باندهای انقی	N=۲۴ مرد ۱۸ تا ۳۴ سال	8هفته، ۲۲ جلسه (۲تا ۳بار در هفته)	ایزوکینتیک دینامومتر Biodex برای سنجش حس وضعیت مفصل	۱: گروه تمرین کاهش معنی‌دار خطای حس وضعیت مفصل زانو را نشان داد. ۲: تمرینات نوروماسکولار موجب بهبود پایدار حس عمقی زانو پس از پایان بازتوانی استاندارد شد. ۳: این تمرینات عملکرد عصبی‌عضلانی ورزشکاران ACLR را تقویت می‌کند.
۳	Khalid و همکاران/ ۲۰۲۲ (۲۸)	کارآزمایی بالینی تصادفی (RCT)	اثربخشی تمرینات نوروماسکولار با تمرینات قدرتی پس از بازسازی ACL از نظر درد، عملکرد، کیفیت زندگی، قدرت و توان	گروه نوروماسکولار: شامل اسکوات لانج، تعادل روی تخته تعادلی، پرش‌ها، تمرینات پایداری و چابکی (به‌تدریج پیشرفته طی هفته ۱ تا ۶) تمرینات قدرتی: تمرینات تقویتی ستی (اکستنشن زانو، لانج با وزنه، پرس پا)	N=۷۶ ۴۳مرد و ۳۳زن، ۲۰ تا ۴۰ سال	۶هفته، ۱۸ جلسه (۳جلسه در هفته)	پرسشنامه عملکرد، پرسشنامه درد، تست‌های قدرت/توان	۱: تمرینات نوروماسکولار کاهش معنادار درد نسبت به تمرینات قدرتی ایجاد کردند. ۲: نتایج تست‌های پرش و توان در گروه نوروماسکولار برتر از گروه تمرین قدرتی بود.
۴	Ghaderi و همکاران/ ۲۰۲۱ (۲۹)	کارآزمایی بالینی تصادفی (RCT)	تمرینات نوروماسکولار با نشانه‌گذاری تمرکز بیرونی بر بیومکانیک پرش فرود، حس وضعیت زانو و عملکرد گزارش‌شده بیماران ACLR	تمرینات نوروماسکولار: اسکوات دوپا/تک‌پا، لانج، دراپ‌جامپ، تعادل تک‌پا روی سطح ناپایدار، پرش کلتزموومنت تک‌پا، باندهای انقی، پرش طولی تک‌پا. همه تمرینات با راهنمای تمرکز بیرونی اجرا شدند.	N=۲۴ مرد، ۲۲ تا ۳۰ سال	۸هفته، (۲تا ۳ جلسه در هفته)	سیستم موشن آنالیز ۶دوربینه (Hz۲۵۰)، فورس پلیت AMTI ، ایزوکینتیک دینامومتر Biodex (حس وضعیت مفصل)، پرسشنامه عملکرد زانو	۱: تمرینات نوروماسکولار با تمرکز بیرونی موجب بهبود بیومکانیک پرش-فرود شدند. (افزایش فلکشن ته، ران و زانو؛ کاهش والگوس زانو و ممان‌های خلزانو). ۲: حس وضعیت مفصل زانو و امتیاز عملکرد زانو به‌طور معناداری افزایش یافت. ۳: این مداخله به کاهش ریسک آسیب مجدد ACL منجر شد.
۵	Mazidluie و همکاران/ ۲۰۲۴ (۳۰)	کارآزمایی بالینی تصادفی (RCT)	اثر تمرینات تعادلی شناختی -دوگانه با تمرینات تعادلی تک‌وظیفه‌ای بر شاخص‌های تعادل ایستا در افراد بازسازی‌شده ACL	هر دو گروه تمرینات تعادلی روی زمین، فوم و بورد تعادلی انجام دادند؛ در گروه دوگانه، همزمان تکالیف شناختی مثل معکوس گفتن اعداد/روزها	N=۲۸ ۲۵ مرد و ۳ زن، ۱۸ تا ۴۵ سال	۴هفته، ۱۲ جلسه (۳ جلسه در هفته)	پلتفرم فشار FDM برای COP، پرسشنامه عملکرد و کیفیت زندگی زانو	۱: تمرینات شناختی-دوگانه برتری معناداری نسبت به تمرینات تعادلی ساده نداشتند. ۲: هر دو نوع تمرین به بهبود عملکرد عصبی– عضلانی پس از بازسازی ACL منجر شدند.
۶	Nagelli و همکاران/ ۲۰۲۱ (۳۱)	مطالعه کوهورت	اثر تمرینات نوروماسکولار بر بیومکانیک زانو در ورزشکاران پس از بازسازی ACL و مقایسه نتایج با ورزشکاران سالم	پروتکل نوروماسکولار شامل ۷ نوع تمرین با ۴ تا ۱۸ پیش‌رونده: پرش‌های تک‌پا، دقیقت تک‌پا، لانج‌ها، پرش‌های دوتایی، تمرینات پایداری مرکزی و جلبی	N=۲۸ ۱۸ ورزشکار ACLR (۸مرد، ۱۰زن، ۱۲تا ۲۷ سال) و ۱۰ ورزشکار سالم کنترل (۴مرد، ۶ زن، ۱۲ تا ۲۰ سال)	۴هفته، ۱۲ جلسه	سیستم Motion Capture (۱۲ دوربین، Hz۲۴۰)، فورس پلیت، مارکرگذاری سه‌بعدی	۱: پس از تمرینات نوروماسکولار، زاویه فلکشن زانو افزایش و ممان فلکشن کاهش یافت. ۲: این تغییرات بیانگر بهبود کنترل حرکتی، کاهش استرس مکانیکی زانو و ارتقای عملکرد عصبی - عضلانی بودند.
۷	Kaya و همکاران/ ۲۰۱۹ (۳۲)	کارآزمایی بالینی تصادفی (RCT) با پیگیری دو ساله	تأثیر تمرینات نوروماسکولار قدام تحتانی بر حس وضعیت زانو، قدرت عضلات و سطح عملکرد بیماران پس از بازسازی ACL	گروه مداخله علاوه بر تولیخشی استاندارد، تمرینات نوروماسکولار (کنترل حرکتی شامل: تک‌پا ایستادن، رسیدن با دست و پا لانج‌ها، استپ‌آپ/استپ‌داون، اسکوات تک‌پا، پل لگنی تک‌پا، دقیقت تک‌پا، اسکوات سومو	N=۳۲ مرد، ۱۶ تا ۵۳ سال	۲۴هفته، ۲ تا ۳ جلسه در هفته	Biodex Isokinetic Dynamometer (قدرت و حس وضعیت مفصل)، تست پرش تک‌پا، آزمون‌های کلینیکی	۱: تمرینات نوروماسکولار موجب بهبود معنادار حس وضعیت مفصل زانو شدند. ۳: افزودن تمرینات نوروماسکولار به پروتکل استاندارد بازتوانی، در تقویت حس عمقی و عملکرد عصبی -عضلانی مؤثر بود.
۸	Shim و همکاران/ ۲۰۱۵ (۳۳)	نیمه تجربی	اثر تمرینات نوروماسکولار بر پایداری مفصل زانو بعد از بازسازی ACL	تمرینات نوروماسکولار شامل کار با بالانس‌بال در وضعیت نیمه‌اسکوات تک‌پا	N=۱۶ ۱۱مرد و ۵ زن، ۱۹ تا ۵۰ سال	12هفته، ۳ جلسه در هفته	پرسشنامه عملکرد و علائم، تست جابجایی قدامی درشتنی، فعالیت عضلانی عضلات منتخب	۱: تمرینات نوروماسکولار منجر به کاهش جابجایی قدامی درشتنی پس از بازسازی ACL شدند. ۲: این تمرینات پایداری عملکردی مفصل زانو را به‌طور قابل توجهی بهبود دادند.
۹	Eslami و همکاران/ ۲۰۲۴ (۳۴)	کارآزمایی بالینی تصادفی تک‌سوکور (RCT)	تأثیر تمرینات شناختی -حرکتی تعادلی تک‌وظیفه‌ای و دووظیفه‌ای بر تعادل ایستا و عملکرد زانو بعد از ACLR	گروه تک‌وظیفه‌ای: تمرینات تعادلی ایستا روی زمین، فوم، بوردها؛ گروه دووظیفه‌ای: همان تمرینات + تکالیف حرکتی همزمان (پاس توپ، حمل لیوان آب، دنبال کردن هدف با لیزر، پرتاب توپ)	N=۲۷ ۲۶ مرد و ۱ زن، ۱۸ تا ۴۵ سال	۴هفته، ۱۲ جلسه، ۳ جلسه/هفته	سکوی فشار، پرسشنامه عملکرد و کیفیت زندگی زانو	۱: هر دو نوع تمرین موجب بهبود معنادار تعادل و عملکرد عصبی -عضلانی شدند.
۱۰	Chmielewski و همکاران/ ۲۰۲۴ (۳۵)	نیمه‌تجربی	تغیرات در تست‌های واکنش دیداری -حرکتی و تست‌های پرش تک‌پا پس از تمرینات پیشرفته نوروماسکولار در بیماران بازسازی ACL	تمرینات پیشرفته نوروماسکولار شامل پایداری دینامیک، پلایومتریک، چابکی و قدرتی با شدت افزایشی؛ گاهی همراه با تکالیف دوگانه ساده (مثل پرتاب-توپ با فرمان کلامی)	N=۲۵ 11مرد و ۱۴ زن، ۱۴ تا ۳۰ سال	۵هفته، ۱۰ جلسه (۲ جلسه در هفته)	تست واکنش دیداری -حرکتی، تست‌های پرش تک‌پا	۱: عملکرد حرکتی در تست‌های پرش به‌طور معناداری بهبود یافت. ۲: بهبود در تست‌های واکنش دیداری -حرکتی کم‌تر مشاهده شد.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-23]

این تمرینات با هدف قرار دادن مستقیم سیستم عصبی -عضلانی، از طریق سازوکارهای نوروپلاستیسیته به ایجاد پایداری عملکردی مفصل پس از بازسازی ACL کمک می‌کنند. تمرینات نوروماسکولار با تأکید بر تمرکز بیرونی توجه، کارایی بیومکانیکی و دقت حس‌عمقی را پس از بازسازی ACL از طریق بازسازمان‌دهی در سیستم‌های عصبی-عضلانی بهبود می‌بخشند(۳۶، ۳۷). این بهبود از طریق هماهنگی بهتر بین عضلات چهارسر و همسترینگ حاصل می‌شود(۳۸، ۳۹).

همان‌گونه که قادری و همکاران (۲۰۲۰) و Kaya و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند(۲۷،۳۲)، بهبود در حس وضعیت مفصل و قدرت عضلانی پس از هشت تا بیست‌وچهار هفته تمرین، نشان‌دهنده بازسازی مؤثر مسیرهای حسی-حرکتی و کاهش وابستگی به راهبردهای جبرانی است. این فرایند، بازتابی از نوروپلاستیسیته در قشر حرکتی و مخچه محسوب می‌شود که اساس عملکرد پایدار مفصل را پس از آسیب فراهم می‌کند.

تمرینات نوروماسکولار با اصلاح الگوهای حرکتی پرخطر و بازآموزی هماهنگی عصبی - عضلانی، خطر آسیب مجدد ACL را کاهش می‌دهند(۴۰). مطالعات Nigelli (۲۰۲۱) و Khalid (۲۰۲۲)، نشان دادند (۲۸،۳۱)،که این تمرینات با افزایش فلکشن زانو و کاهش نیروهای برشی قدامی، بار مکانیکی وارد بر رباط را کم می‌کنند. تمرینات نوروماسکولار علاوه بر تقویت عضلات، نحوه فعال‌سازی و زمان‌بندی پاسخ عصبی را نیز بازسازی می‌کنند و از طریق کاهش والگوس دینامیک و اصلاح استراتژی‌های فرود، زمینه را برای بازگشت ایمن به ورزش و جلوگیری از آسیب مجدد فراهم می‌سازند(۲۸، ۳۱). این نتایج با یافته‌های قادری (۲۰۲۰)، Kaya (۲۰۱۹) و Shim (۲۰۱۵) همسو است (۲۷،۳۲،۳۳)، زیرا همگی از تمرینات نوروماسکولار چندبعدی شامل اسکوات، لانج، پرش از ارتفاع، تمرینات تعادلی روی سطوح ناپایدار و حرکات پلایومتریک با بار تدریجی استفاده کردند.

در یک مرور نظام‌مند Arumugam و همکاران، نشان دادند که تمرینات نوروماسکولار پس از آسیب یا بازسازی ACL می‌توانند حس وضعیت مفصل و کنترل عضلانی چهارسر ران را بهبود دهند، اگر چه کیفیت شواهد پایین و نتایج ناهمگون بود (۴۱). با وجود حمایت نسبی از نقش این تمرینات در بهبود کنترل عصبی - عضلانی، شواهد کافی برای تعیین یک پروتکل تمرینی بهینه وجود ندارد. این یافته‌ها با نتایج مرور حاضر همسو است و بر ضرورت انجام مطالعات با طراحی دقیق‌تر و پروتکل‌های استانداردتر برای کاهش ریسک آسیب مجدد تأکید دارد.

از نظر بالینی، ادغام تمرینات نوروماسکولار و حسی-حرکتی در برنامه بازتوانی پس از بازسازیACL ضروری به نظر می‌رسد. این تمرینات با بهبود حس عمقی، تعادل و الگوهای حرکتی، خطر آسیب مجدد را کاهش داده و بازگشت ایمن‌تر به ورزش را تسهیل می‌کنند. با این حال، این مرور دارای محدودیت‌هایی چون ناهمگونی در طراحی مطالعات، پروتکل‌های مداخله و ابزارهای اندازه‌گیری بود که امکان انجام متاآنالیز را فراهم نکرد. همچنین محدود شدن جستجو به مقالات انگلیسی و در دسترس بودن متن کامل، احتمال حذف برخی مطالعات مرتبط را به همراه دارد. اندازه نمونه کوچک و فقدان پیگیری بلندمدت در بسیاری از مطالعات، تفسیر نتایج در پیشگیری بلندمدت از آسیب مجدد را محدود می‌کند.

پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده با طراحی کارآزمایی‌های تصادفی شده با کیفیت بالا، نمونه‌های بزرگ‌تر و دوره‌های پیگیری طولانی‌مدت، به شناسایی مؤثرترین مؤلفه‌های تمرینات نوروماسکولار و حسی - حرکتی بر کاهش ریسک آسیب مجدد و بهبود عملکرد عصبی - عضلانی بپردازند. همچنین بررسی این مداخلات در جمعیت‌های خاص مانند ورزشکاران زن می‌تواند مسیر مهمی برای تحقیقات آینده باشد.

نتایج مرور حاضر نشان می‌دهد که تمرینات نوروماسکولار و حسی - حرکتی به‌طور معناداری منجر به

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-23]

بهبود عملکرد عصبی – عضلانی (از جمله افزایش قدرت، تعادل و حس عمقی) و کاهش عوامل خطر بیومکانیکی مرتبط با آسیب مجدد می‌شوند. این تمرینات با اصلاح الگوهای حرکتی پرخطر، بازگشت ایمن‌تر به ورزش را تسهیل می‌کنند. بنابراین، گنجاندن این تمرینات در قالب پروتکل‌های جامع و پیشرونده، به عنوان بخشی ضروری از بازتوانی پس از بازسازی ACL توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

از همکاری و مشارکت همه افرادی که در انجام و پیاده‌سازی این پژوهش نقش داشتند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نماییم. این تحقیق هیچ بودجه خارجی دریافت نکرده است و نویسندگان هیچ گونه تضاد منافعی را اعلام نمی‌کنند.

References

1. Anderson D, Cosgarea A. Failed anterior cruciate ligament reconstruction and loss of motion. Sports Med Arthrosc Rev 2005; 13(1): 17-24.
2. Buckthorpe M, Danelon F, La Rosa G, Nanni G, Stride M, Della Villa F. Recommendations for hamstring function recovery after ACL reconstruction. Sports Med 2021; 51(4): 607-624. PMID: 33332017.
3. Sanders T, Maradit Kremers H, Bryan A, Larson D, Dahm D, Levy B, et al. Incidence of anterior cruciate ligament tears and reconstruction. Am J Sports Med 2016; 44(6): 1502-1507. PMID: 26920430.
4. Hopper A, Haff E, Joyce C, Lloyd R, Haff G. Neuromuscular training improves lower extremity biomechanics associated with knee injury during landing in 11- 13year old female netball athletes: a randomized control study. Front Physiol 2017; 8:883. PMID: 29163219.
5. Johnston J, Mandelbaum B, Schub D, Rodeo S, Matava M, Silvers-Granelli H, et al. Video analysis of anterior cruciate ligament tears in professional American football athletes. Am J Sports Med 2018; 46(4): 862-868. PMID: 29466019.
6. Olivier F, Olivier B, MacMillan C, Briel S. Effect of neuromuscular injury prevention strategies on injury rates in adolescent males playing sport: a systematic review protocol. JBI Evid Synth 2024;22(4):689-699. PMID: 37972948.
7. Annear P, Henderson A. Partial anterior cruciate ligament knee reconstruction with accelerated anterior cruciate ligament rehabilitation. Orthop J Sports Med 2016; 4(2 Suppl): 2325967116S00025.
8. Wetters N, Weber A, Wuerz T, Schub D, Mandelbaum B. Mechanism of injury and risk factors for anterior cruciate ligament injury. Oper Tech Sports Med 2016; 24(1): 2-6.
9. Wu J, Che X. Evaluation on curative effects of isokinetic muscle strength training for improving muscle function in patients with knee osteoarthritis. Medicine (Baltimore) 2021; 100(45): e27655. PMID: 34766567.
10. Beynnon B, Vacek P, Newell M, Tourville T, Smith H, Shultz S, et al. The effects of level of competition, sport, and sex on the incidence of first-time noncontact anterior cruciate ligament injury. Am J Sports Med 2014; 42(8):1806-1812. PMID: 25016012.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-23]

11. Hewett T, Myer G, Ford K. Anterior cruciate ligament injuries in female athletes. Am J Sports Med 2006; 34(2):299-311. PMID: 16423913
12. Rezazadeh F, Shojaeddin SS, Badicu G. Functional stretching decreases knee joint loading in male athletes with gastroc-soleus tightness. J Mens Health 2021; 17(2):84-93.
13. Ardern C, Taylor N, Feller J, Webster K. Fifty-five per cent return to competitive sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: an updated systematic review and meta-analysis including aspects of physical functioning and contextual factors. Br J Sports Med 2014; 48(21): 1543-1552. PMID: 25157180.
14. Webster K, Feller J. Expectations for return to preinjury sport before and after anterior cruciate ligament reconstruction. Am J Sports Med 2019; 47(3): 578-583. PMID: 30649903.
15. Wiggins A, Grandhi R, Schneider D, Stanfield D, Webster K, Myer G. Risk of secondary injury in younger athletes after anterior cruciate ligament reconstruction. Am J Sports Med 2016; 44(7): 1861-1876. PMID: 26772611.
16. Courtney C, Atre P, Foucher K, Alsouhibani A. Hypoesthesia after anterior cruciate ligament reconstruction: the relationship between proprioception and vibration perception deficits in individuals greater than oneyear post-surgery. Knee 2019; 26(1): 194-200. PMID: 30497806.
17. Relph N, Herrington L. Knee joint position sense ability in elite athletes who have returned to international level play following ACL reconstruction: a cross-sectional study. Knee 2016; 23(6):1029-1034. PMID: 27712856.
18. Arundale A, Bizzini M, Giordano A, Hewett T, Logerstedt D, Mandelbaum B, et al. Exercise-based knee and anterior cruciate ligament injury prevention. J Orthop Sports Phys Ther 2018;48(9): A1-A42. PMID: 30170521.
19. Panics G, Tallay A, Pavlik A, Berkes I. Effect of proprioception training on knee joint position sense in female team handball players. Br J Sports Med 2008; 42(6):472-476. PMID: 18390919.
20. Leone C, Feys P, Moumdjian L, D'Amico E, Zappia M, Patti F. Cognitive-motor dual-task interference: a systematic review of neural correlates. Neurosci Biobehav Rev 2017; 75:348-360. PMID: 28104413.
21. Moreira P, Dieguez G, Bredt S, Praça G. The acute and chronic effects of dual-task on the motor and cognitive performances in athletes: a systematic review. Int J Environ Res Public Health 2021; 18(4): 1732. PMID: 33579018.
22. Wu J, Qiu P, Lv S, Chen M, Li Y. The effects of cognitive-motor dual-task training on athletes' cognition and motor performance. Front Psychol 2024; 15: 1284787. PMID: 38390413.
23. Strong A, Boraxbekk C, Markström J. Greater cognitive-motor interference among patients after anterior cruciate ligament reconstruction compared with controls. Am J Sports Med 2025; 53(5): 1041-1049. PMID: 40035612.
24. Downs S, Black N. The feasibility of creating a checklist for the assessment of the methodological quality both of randomised and non-randomised studies of health care interventions. J Epidemiol Community Health 1998; 52(6): 377-384. PMID: 9764259.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-23]

25. Sterne J, Savović J, Page M, Elbers R, Blencowe N, Boutron I, et al. RoB 2: a revised tool for assessing risk of bias in randomised trials. BMJ 2019; 366: l4898. PMID: 31462531.
26. Sterne J, Hernán M, Reeves B, Savović J, Berkman N, Viswanathan M, et al. ROBINS-I: a tool for assessing risk of bias in non-randomised studies of interventions. BMJ 2016;355: i4919. PMID: 27733354.
27. Ghaderi M, Letafatkar A, Almonroeder T, Keyhani S. Neuromuscular training improves knee proprioception in athletes with a history of anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled trial. Clin Biomech (Bristol, Avon) 2020; 80:105157. PMID: 32871397.
28. Khalid K, Anwar N, Saqulain G, Afzal M. Neuromuscular training following anterior cruciate ligament reconstruction - pain, function, strength, power & quality of life perspective: a randomized control trial. Pak J Med Sci 2022;38(8):2175-2181. PMID: 36415269.
29. Ghaderi M, Letafatkar A, Thomas A, Keyhani S. Effects of a neuromuscular training program using external focus attention cues in male athletes with anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized clinical trial. BMC Sports Sci Med Rehabil 2021; 13(1): 49. PMID: 33964961.
30. Eslami F, Ahadi J, Mazidluie M, Ghanava T, Moradi A. Comparative analysis of dual-task and single-task balance exercises in improving static balance in individuals with anterior cruciate ligament reconstruction. J Modern Rehabil 2024;18(3):1-8.
31. Nagelli C, Wordeman S, Di Stasi S, Hoffman J, Marulli T, Hewett T. Neuromuscular training improves biomechanical deficits at the knee in anterior cruciate ligament-reconstructed athletes. Clin J Sport Med 2021; 31(2):113-119. PMID: 30747746.
32. Kaya D, Guney-Deniz H, Sayaca C, Calik M, Doral M. Effects on lower extremity neuromuscular control exercises on knee proprioception, muscle strength, and functional level in patients with ACL reconstruction. Biomed Res Int 2019; 2019: 1694695. PMID: 31828089.
33. Shim J, Choi H, Shin J. Effects of neuromuscular training on knee joint stability after anterior cruciate ligament reconstruction. J Phys Ther Sci 2015; 27(12): 3613-3617. PMID: 26834316.
34. Eslami F, Ahadi J, Mazidluie M, Ghanava T, Moradi A. Comparative analysis of dual-task and single-task balance exercises in improving static balance in individuals with anterior cruciate ligament reconstruction. J Modern Rehabil 2024; 18(3):1-8.
35. Chmielewski T, Obermeier M, Meierbachtol A, Jenkins A, Stuart M, Sikka R, et al. Advanced neuromuscular training differentially changes performance on visuomotor reaction tests and single-leg hop tests in patients with ACL reconstruction. Int J Sports Phys Ther 2024; 19(11): 1324-1337. PMID: 39502551.
36. Blackburn J, Norcross M, Cannon L, Zinder S. Hamstrings stiffness and landing biomechanics linked to anterior cruciate ligament loading. J Athl Train 2013; 48(6):764-772. PMID: 24303987.
37. Cruz A, Bell D, McGrath M, Blackburn T, Padua D, Herman D. The effects of three jump landing tasks on kinetic and kinematic measures: implications for ACL

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-23]

injury research. Res Sports Med 2013; 21(4): 330-342. PMID: 24067119.

38. Withrow T, Huston L, Wojtys E, Ashton-Miller J. Effect of varying hamstring tension on anterior cruciate ligament strain during in vitro impulsive knee flexion and compression loading. J Bone Joint Surg Am 2008; 90(4): 815-823. PMID: 18381320.
39. Shao Q, MacLeod T, Manal K, Buchanan T. Estimation of ligament loading and anterior tibial translation in healthy and ACL-deficient knees during gait and the influence of increasing tibial slope using EMG-driven approach. Ann Biomed Eng 2011; 39(1): 110-121. PMID: 20683675.
40. Pangestuputra A, Changestu D. Neuromuscular training in ACL injury prevention: a narrative review. Orthop J Sports Med 2024; 12(10 Suppl 3): 2325967124S00394.
41. Arumugam A, Björklund M, Mikko S, Häger C. Effects of neuromuscular training on knee proprioception in individuals with anterior cruciate ligament injury: a systematic review and GRADE evidence synthesis. BMJ Open 2021; 11(5): e049226. PMID: 34006560.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-23]